

空间电力负荷预测小区用地分析(一)

——模糊推理新方法和小区用地分析原理

余贻鑫, 张崇见, 张弘鹏

(天津大学电气自动化与能源工程学院, 天津 300072)

摘要:提出了一种在知识不完备的情况下,计及前提重要性的基于模糊逻辑的近似推理和决策新方法,并将其用于城市配电网规划空间电力负荷预测的小区用地适应性和优劣性分析中。建立了基于模糊集理论的规划年城市土地开发和土地改造预测的基本原理,该原理能够充分体现专家的推理和决策过程,为城市配电网规划人员完成规划年城市土地高分解条件下小区土地开发时间、使用性质和最佳使用强度的分析任务提供了一套系统的理论和方法。

关键词:空间电力负荷预测;近似推理;城市土地开发;土地使用;适应性和优劣性

中图分类号: TM 715; O 159

0 引言

空间电力负荷预测,也称小区负荷预测,其概念最早是在 1983 年由美国的 Wills 提出^[1],其定义为在未来电力部门的供电范围内,根据规划的城市电网电压水平不同将城市用地按照一定的原则划分为相应大小的规则的(网格)或不规则的小区(可小到 0.01 km^2),通过分析、预测规划年城市小区土地利用的特征和发展规律,来进一步预测相应小区中电力用户和负荷分布的位置、数量和产生的时间。

到目前为止,空间电力负荷预测领域中,国内外进行小区土地使用分析的方法主要有 3 种:①解析的方法^[2],即建立详细的小区土地使用模型,仿真小区土地的使用变化过程,该模型的缺点是难以处理城市改造的问题,故它不具有普遍意义;②频域分析法^[3],即通过专家或规划人员输入各小区对各类负荷的适应性分数值,直接确定将来小区新增电力用户的数量;③基于模糊逻辑的方法^[4,5],即利用模糊集理论分析小区规划年的用地性质。应用模糊集理论对模糊命题进行模糊推理时,是用模糊关系表示模糊条件句,这样将推理的判断过程转化为对隶属度的合成及演算过程^[6]。文献[4]采用模糊关联矩阵(FAM)方法进行小区用地性质的分析,存在两个问题:一是当考虑因素众多时,会出现推理规则的“组合爆炸”,而实际空间电力负荷预测中由于小区划分较小,影响未来小区使用的因素很多;二是无法考虑推理前提的重要性,无法反映人们评价小区时不对

同因素重视程度不同这一推理前提。文献[5]提出的模糊多目标决策方法可以考虑决策因素的重要性,但需对每个待评价的小区建立评价系统,而实际中,小区数目巨大(几千个~几万个),因而该方法无法满足实际推理的需要,仅适用于小规模的土地分析。

本文提出了一种在知识不完备情况下,能够考虑推理前提重要性的、基于模糊逻辑的近似推理和决策的新方法,建立了规划年城市小区土地开发和土地改造预测的基本原理,较好地解决了空间电力负荷预测的小区用地分析任务,能够满足实际城市配电网规划的要求。

1 计及前提重要性的基于模糊逻辑的近似推理和决策新方法

1.1 近似推理算法

对于每个命题“ X 是 A ”(其隶属度用 $A(x)$ 表示),可以赋一个权重 w (其相应的隶属度用 $A^w(x)$ 表示),其含义可理解为该命题为真的程度或重要性程度。Yager 在文献[6]中指出 $A^w(x) = (1 - w) \vee A(x)$ 和 $A^w(x) = A(x)^w$ 都是蕴涵的形式。文献[7]采用了前一种蕴涵形式进行命题的赋权,但该方法在很大程度上掩盖了隶属度的作用,不能满足对推理前提加权的需要。本文采用后一种蕴涵形式进行命题赋权,即对合取(逻辑交)命题有 $A^w(x) = A(x)^w$,而对析取(逻辑并)命题有 $A_w(x) = 1 - (1 - A(x))^w$,这里 $w \geq 0$,等式左边 w 表示权重,等式右边 w 表示乘方。显然,当 $A(x), w \in \{0, 1\}$ 时,它们都退化为二元命题。

当采用合取命题表示时,一个考虑前提赋权的多输入-单输出(MISO)系统可以表示为^[8]:

R_1 : if X_1 is A_{11}^w and X_2 is $A_{12}^w \cdots X_n$ is A_{1n}^w , then Y is B_1 , else
 $\vdots$
 R_m : if X_1 is A_{m1}^w and X_2 is $A_{m2}^w \cdots X_n$ is A_{mn}^w , then Y is B_m
前提: if X_1 is A_{01}^w and X_2 is $A_{02}^w \cdots X_n$ is A_{0n}^w
结论: Y is B_0 .

其中 A_{i1} 是论域 U_1 中的模糊用语, 依此类推, A_{in} 是论域 U_n 中的模糊用语, B_i 是论域 V 中的模糊用语, $\sum_{j=1}^n w_j = n$.

对于 MISO 系统中的第 i 条规则, 可用模糊关系 R_i 表示为:

$$R_i = A_{i1} \times A_{i2} \times \cdots \times A_{in} \times B_i \quad (1)$$

对于多规则模糊推理, 可以采用各规则分别推理, 则 m 个命题的累积模糊关系 R^* 表示为:

$$R^* = \bigcup_{i=1}^m R_i \quad (2)$$

最终的推理结果可表示为:

$$B_0^* = \bigcup_{i=1}^m R_i \circ A^* = \bigcup_{i=1}^m B_i \quad (3)$$

其中 $A^* = A_{01} \times A_{02} \times \cdots \times A_{0n}$.

从以上的 m 个条件命题中可以看出, 如果每个论域 $U_j (j = 1, 2, \cdots, n)$ 基本元素数目为 g , 并且论域 V 的基本元素数目为 h , 则论域 U 将有 g^n 个组合基数, 而模糊关系 $U \times V$ 将有 $g^n h$ 个组合基数. 假如每个基本集 U_j 和 V 各有 10 个元素的话, 则最终的关系 $U \times V$ 上将有 10^{n+1} 个组合, 因此, 需要建立的模糊关系规则数目将是巨大的, 因而会出现“维数灾”的现象. 然而, 通过适当选择 $U_1, U_2, \cdots, U_n$ 的基本元素可大大减少推理过程的计算量^[9].

如果第 i 个命题是用析取命题表示的, 则有:

R_i : if X_1 is $\neg(A_{i1}^w)$ or X_2 is $\neg(A_{i2}^w)$ or $\cdots$ or X_n is $\neg(A_{in}^w)$, then Y is B_i

其中 “ $\neg$ ” 表示“非”, 如 $\neg a = 1 - a$.

利用以上的模糊推理框架可以完成具有不精确的语言描述的系统的推理.

1.2 清晰化决策方法

基于以上的对前提加权的模糊推理得出的结果是一个模糊量, 因而不能直接用于决策, 还要采取合理的方法将模糊量转换成精确量. 文献[10]提出了一种清晰化决策函数 $F(\tilde{A})$. 文献[4]采用了基于区域中心(center of area——COA)的清晰化方法. 采用如上两种清晰化决策方法, 将使决策结果趋于均化或者偏小. 为了避免这种情况的出现, 根据文献[11], 隶属函数的平方可以看成新的权值, 本文建立了一种新的决策函数:

$$\mu^* = \frac{\sum_{i=1}^m \mu_{B_i}(y_i)^2 y_i}{\sum_{i=1}^m \mu_{B_i}(y_i)^2} \quad (4)$$

其中 y_i 表示第 i 条规则推理结果在 $[0, 1]$ 之间的离散值; $\mu_{B_i}(y_i)$ 表示对应离散点 y_i 的隶属度; μ^* 表示清晰化的决策.

2 小区用地分析原理

小区土地利用的时间和空间的变化同城市各类土地使用者对小区的优劣性评价和适应性评价结果有密切的关系. 其中, 优劣性的评价是指各类土地使用者对土地要求的共性部分的基本评价; 适应性评价是指各类土地使用者带有其特有土地使用要求的、有针对性的特殊评价.

空间电力负荷预测中的小区用地分析指的是, 一方面根据不同负荷类别对小区使用条件的要求, 对规划期间准备开发的空地进行优劣排序和适应性评价, 以确定各待开发小区被开发的次序和开发强度, 进而确定电力用户产生的时间和空间位置; 另一方面, 要通过对城市现有土地利用状况的等级评价和规划状态下的等级评价, 分析城市现状用地布局中存在的土地低效使用问题, 合理确定现有用地可能发生的土地置换(如承租能力高的商业取代承租能力低的工业)和更新(如大的商业建筑取代小的商业建筑)的时间顺序和开发强度, 从而为确定电力负荷的性质和发展趋势提供可靠的理论依据, 图 1 提供了小区土地使用模糊决策的原理图.

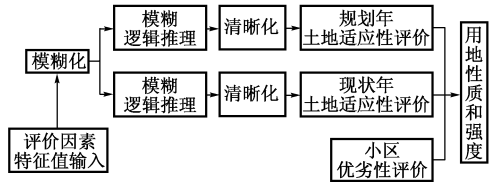


图 1 城市用地性质和强度的模糊推理原理图
Fig. 1 Schematic diagram of fuzzy reasoning for decision of land-use type and intensity of urban small area

3 小区空地开发——新用户预测的准则与方法

3.1 模糊的小区土地分类适应性评价矩阵的建立

假设某个功能小区有 N 块待开发的地块, 其可开发的土地性质有 L 种. 每一种土地性质可以按照其适应性程度的高低划分为若干个等级(例如 10 个等级), 根据隶属函数的定义, 适应性程度可以用 $[0, 1]$ 区间内的数值表示, 0 表示完全不适宜的用

地,1表示完全适宜的用地,其间划分为10个子区间,每个子区间都表示相应的适应性等级。由于不同的土地使用性质,其适应性评价的标准不同,因此,最终可以得到相对于不同用地性质的适应性评价矩阵,例如我们可以得到如下的 $N \times L$ 矩阵表示:

$$S(i, j) = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \cdots & s_{1L} \\ s_{21} & s_{22} & \cdots & s_{2L} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ s_{N1} & s_{N2} & \cdots & s_{NL} \end{bmatrix} = (s_{ij}) \quad (5)$$

其中 $s_{ij} \in [0, 1]$ 表示第 i 个地块对第 j 类用地的适应性。

准则1 对于每一类用地性质(如 j 类),适应性有一个最小的阈值 $s_j^{\min}$, 如果某小区对于某类用地适应性评价的结果小于此阈值,则此地块不可能转换为此类用地性质。

推论1 对于一个负荷为零的空地块,如果对几类用地适应性评价的结果均小于相应的阈值,则该地块保持空地的用地性质不变。

3.2 确定小区用地性质的准则

由于待开发用地向不同用地性质转换时,按价值规律,其转换目标应该是能发挥其最大效益的用地类型。由于价值的作用,不同用地性质的同一等级的用地评价,其土地使用产生的效益不可能相同,因此必须建立效益相等的分级对应图,如图2所示。

商业C	1级	2级	3级	4级	5级	6级	7级	8级	9级	10级
居住R	1级	2级	3级	4级	5级	6级	7级	8级	9级	10级
工业I	1级	2级	3级	4级	5级	6级	7级	8级	9级	10级
仓储S	1级	2级	3级	4级	5级	6级	7级	8级	9级	10级

图2 不同用地性质分级价值评定图

Fig. 2 Value map for different land-use levels

准则2 如果几类用地适应性评价的等级相当(例如 C_1, R_1, I_2, S_3), 且向几类用地的转换都可能发生时, 则从“优地优用”的城市规划原则出发, 将该地块归为承租能力较高的用地性质的集合。例如用地选择的顺序依次为 $C \rightarrow R \rightarrow I \rightarrow S$ 。

3.3 确定土地开发时间顺序的准则

城市土地的开发从发挥用地的作用和效益出发, 必然是好的土地使用得越早, 其产生的经济价值和社会效益越高。因此, 根据多因素的分析判断推断出每个小区地块的优劣顺序, 就可以根据土地的需求量, 确定各小区用地开发的时间顺序和开发的最可能的速度。

假设根据多因素的模糊逻辑关系, 推断出各待开发小区的优劣等级评价矩阵元素可用 $[0, 1]$ 间的数值表示, 则优劣性的评价结果如下:

$$E = [e_1, e_2, \dots, e_N] \quad (6)$$

其中 $e_i \in [0, 1]$ 表示优劣程度, 其值越大表示对该地块的偏好程度越高, 因此它被开发的时间越早, 开发的用地强度也越高。

3.4 确定小区土地开发强度的方法

城市小区土地的开发强度(D_i)等级取决于土地的优劣等级评价和对于不同用地性质的适应性评价, 它们之间可用如下的非线性关系表示:

$$D_i = F(E, S) \quad (7)$$

从规划的实际出发, 同一类型的用地, 其开发强度也可分成几个等级(例如10个等级), 这些等级仍然可以用 $[0, 1]$ 区间的数值表示。小区开发强度对应的数值是由小区用地的优劣性和对某种类型用地的适应性两方面的评价来确定的, 可近似采用线性加权的方法, 即分别确定土地优劣性和各类用地适应性的权值 w_1 和 w_2 , 且满足如下的条件:

$$w_1 + w_2 = 1.0 \quad (8)$$

即可确定待开发土地的负荷强度等级和发展速度。

4 小区土地置换和更新预测的规则与方法

4.1 模糊的小区用地适应性评价矩阵的建立

在小区土地置换和更新预测中, 需要分别建立现状用地适应性评价矩阵 S_c 和规划年用地适应性评价矩阵 S_0 。其适应性矩阵的形式和空地开发适应性评价矩阵形式相同。

4.2 确定小区土地置换或更新的规则

假设土地适应性评价价值经适当转换后可反映土地的价值, 即土地的价值可用适当的适应性值来表示, 并假设土地的现状利用价值为 $L_U(x, y, t)$ (该值主要依靠有丰富经验的房地产专业人员评估给出), 土地的现状价值评价为 $L_V(x, y, t)$, 土地的规划价值为 $L_P(x, y, t+1)$, 其中 x 与 y 表示地块的位置坐标, t 表示评价的起始时间, $t+1$ 表示规划目标年。

若 $L_U(x, y, t) \geq L_V(x, y, t) = L_P(x, y, t+1)$, 则土地的现状利用价值高于(等于)土地的现状价值和规划年的土地价值, 该用地也将保持原有的用地状态不变(“ $>$ ”对应于过度开发状态, “ $=$ ”对应于稳定平衡状态)。

若 $L_P(x, y, t+1) > L_U(x, y, t) > L_V(x, y, t)$, 则土地的现状利用价值低于其规划年的土地价值, 但高于其土地的现状价值, 该地块初始状态将保持不变, 其用地特征有可能在中间年发生改变。

若 $L_P(x, y, t+1) > L_V(x, y, t) > L_U(x, y, t)$, 则土地的现状利用价值低于其现状价值和规划年的土地价值, 因此, 其用地特征最可能发生改变。

令 $\Delta L = L_P(x, y, t+1) - L_U(x, y, t)$, 如果用

$L(t) > 0$ 表示 t 时刻土地发生更新的阈值, 则当 $\Delta L > L(t)$ 时, 该地块 $D(x, y, t) \subseteq C^*$, 其中 C^* 为可能发生用地变更的地块集合(是否发生土地置换还要根据优化土地的需求量和其他地块的优劣顺序)。 $L(t)$ 将根据实际规划的土地投放量近似确定。

4.3 确定小区土地置换或更新时间的方法

小区土地置换或更新时间的确定方法同空地开发时间顺序的确定原则。

4.4 确定小区土地置换或更新强度的方法

小区土地置换或更新强度的确定方法同空地开发强度的确定方法。

5 结论

a. 本文提出了一种在知识不完备的情况下, 计及前提重要性权重的基于模糊逻辑的近似推理和决策新方法, 该方法为复杂系统的推理和决策提供了有力的工具。

b. 建立了规划年城市土地开发和城市土地改造预测的基本原理。该原理充分反映了专家的推理和决策过程, 为城市配电网规划人员完成规划年城市土地高分解条件下小区土地开发时间、使用性质和最佳使用强度的分析任务提供了一套系统的指导理论。

c. 本文方法适合于中短期城市配电网规划的空间电力负荷预测的小区用地分析工作。在本文续篇(第二部分)中将用一个实例加以说明。

参考文献

- 1 Willis H L, Northcote-Green J E D. Spatial Electric Load Forecasting: A Tutorial Review. Proc the IEEE, 1983, 71(2)
- 2 Willis H L. Urban Model Application to Electric

Demand Forecasting. In: Proc 8th Annual Modeling & Simulation Conference. Pittsburgh: 1977

- 3 Willis H L. Small Area Electric Load Forecasting by Dual Level Spatial Frequency Modeling. In: Proc IEEE Joint Automatic Control Conference. San Francisco: 1977
- 4 Chow M Y, Tram H. Application of Fuzzy Logic Technology for Spatial Load Forecasting. IEEE Trans on Power Systems, 1997, 12(3)
- 5 Chow M Y, Zhu J X, Tram H. Application of Fuzzy Multi-Objective Decision Making in Spatial Load Forecasting. IEEE Trans on Power Systems, 1998, 13(3)
- 6 Yager R R. On the Implication Operator in Fuzzy Logic. Information Sciences, 1983, 31(2)
- 7 Sanchez E. Importance in Knowledge Systems. Information Systems, 1989, 14(6)
- 8 Lee C C. Fuzzy Logic Control Systems: Fuzzy Logic Controller—Part I. IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics, 1990, 20(2)
- 9 Yager R R. Multicriteria Decisions with Soft Information: An Application of Fuzzy Set and Possibility (I and II). Fuzzy Mathematics, 1982(3)
- 10 Yager R R. A Procedure for Ordering Fuzzy Subsets of the Unit Interval. Information Sciences, 1981, 24(2)
- 11 Borgulya I. A Ranking Method for Multiple-Criteria Decision-Making. International Journal of Systems Science, 1997, 28(9)

余贻鑫, 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为电力系统的安全性和稳定性、电力系统规划、配电网自动化等。

张崇见, 男, 博士, 主要研究方向为城市电网运行与规划及电力系统的安全性和稳定性。

张弘鹏, 男, 博士研究生, 主要研究方向为配电规划和配电网自动化、认知系统工程和智能化理论。

SMALL AREA LAND-USE ANALYSIS IN FUZZY SPATIAL LOAD FORECASTING

Part One Principle

Yu Yixin, Zhang Chongjian, Zhang Hongpeng

(Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: A novel fuzzy-logic-based approximate reasoning method which can consider weights in the premise in rules and a defuzzification decision-making function is presented and used in the small areas land-use suitability assessment and superiority-inferiority assessment based on spatial load forecasting of urban distribution system planning. A primary principle about how to forecast the urban land development and urban land reform in the future is founded. The process-reasoning and decision-making of expertise is embodied in the principle. A systematic theory and approach are provided for distribution system researchers to accomplish the decision task of land-use time, land-use classification and land-use intensity of small areas in case of frequently decomposing urban land.

This project is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 59877017).

Keywords: spatial load forecasting; approximate reasoning; urban land development; land use; suitability and superiority-inferiority